

12 L. M. Cook. Chemical processes in glass polishing[J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1990, **120**: 152~171
 13 J. S. Hayden, A. J. Marker Iii, T. I. Suratwala *et al.*. Surface tensile layer generation during thermal annealing of phosphate glass [J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2000,

263-264: 228~239
 14 F. V. Tooley. The Handbook of Glass Manufacture[M]. Vol. II, New York: Ashlee, 1984. 801

栏目编辑: 韩 峰

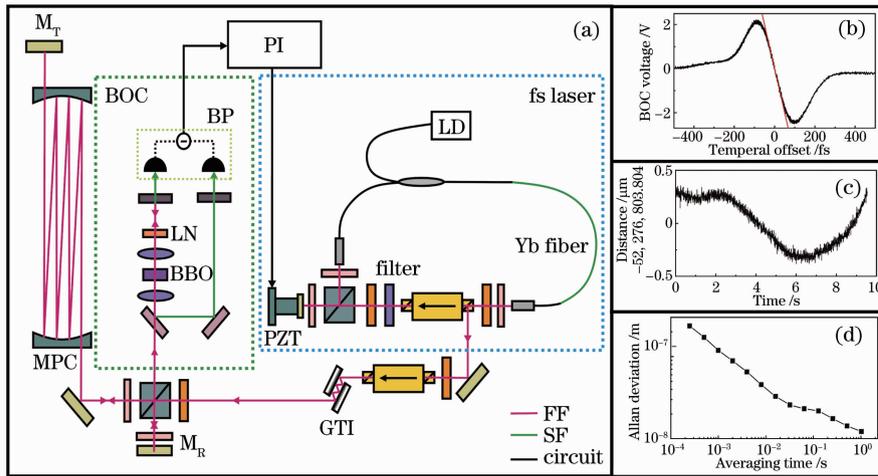
基于飞秒脉冲飞行时间的任意长绝对距离测量

编队卫星飞行是一种实现高分辨率地球观测、深空探测与长基线干涉测量等空间任务的新型模式。卫星间精确的相对位置与指向性控制是实现编队卫星飞行的重要保障,这需要使分布在百米尺度上的子卫星间实现微米甚至亚微米精度的动态绝对距离测量。天津大学超快激光研究室利用飞秒脉冲飞行时间技术在空气环境中实现了 52 m 的远距离测量,5 ms 门宽下的测量精度为 65 nm。

如图 1(a)所示,采用自主研发的耗散孤子锁模的掺镱光纤飞秒激光器作为测距光源,中心波长 1040 nm,重复频率 183 MHz,平均功率 140 mW,经腔外色散补偿,脉冲宽度为 150 fs。压缩后的光脉冲序列经偏振分束器分别进入参考光路和测量光路。在测量光路中,光束在多通长腔中多次往返,实现长距离的传输。为避免直接光电探测造成的精度损失,采用基于 BBO 晶体频率变换与平衡探测的平衡光学互相关技术(BOC)将脉冲飞行时间的灵敏度提高至亚飞秒量级。平衡探测器的输出经过伺服系

统反馈至飞秒激光振荡器腔内的压电陶瓷,从而将往返距离锁定至谐振腔长的整数倍。利用频率计数器读取谐振腔的重复频率,最后将脉冲光的飞行时间转化为待测距离。本装置的脉冲飞行时间的探测灵敏度为 23.5 mV/fs,如图 1(b)所示。采用 5 ms 的系统采样率,测量得到的目标反射镜的距离信息如图 1(c)所示。受机械震动及空气扰动的影响,待测距离在约±500 nm 的范围内随机波动。测量的艾伦方差曲线如图 1(d)所示,在 5 ms 门宽下的测量精度为 65 nm。

与 2010 年 Nature Photonics 杂志上韩国 KAIST 小组报道的飞秒脉冲飞行时间距离测量方案相比,本研究实现了 1 μm 波段的距离测量,测量灵敏度提高了 7 倍。对于一定的压电陶瓷行程,激光器的重复频率越高,无法连续测量的死区阈值越小。由于本系统中激光器的重复频率提高了近 1 倍,死区阈值降低至 107 m。



M_T: target mirror
 M_R: reference mirror
 MPC: multi-pass cell
 LD: laser diode
 GTI: Gires-Tournois interferometer
 BOC: balanced optical cross-correlation
 F: filter; BP: balanced photo-diode
 LN: LiNbO₃
 BBO: β-barium borate
 PI: proportional integral
 FF: fundamental frequency
 SF: sum frequency

图 1 (a)飞秒激光飞行时间距离测量装置;(b)平衡光学互相关器的分辨率;(c)测量距离;(d)艾伦方差
 Fig. 1 (a) Schematic of the experimental setup; (b) timing resolution of BOC; (c) distance ranging result; (d) Allan deviation

秦 鹏 宋有建* 胡明列 柴 路 王清月

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

* E-mail: yjsong@tju.edu.cn

收稿日期: 2012-05-28; 收到修改稿日期: 2012-06-16